

原 著

## 小学5年の「西から東へ移り変わる天気」の学習に関する 気象学的背景の理解のための教育学部生への講義

加藤内蔵進（岡山大学大学院教育学研究科 自然教育学系理科教育講座）

本論文では、小学校第5学年で学習する「西から東への天気の移り変わり」に関する気象学的な背景、「初等理科内容研究①」でのそれに関する講義の内容、講義の効果や今後の課題について検討した。中緯度大気大循環の基本的システムとしての日々の現象の実態、特に、東進に伴う高低気圧の発達の様子を捉えさせるために、典型的な事例を用いて気象衛星画像の動画等の観察や地上天気図への記入作業を行わせた。また、この単元の学習を春や秋以外の事例で行うことの不都合性に関して、低気圧通過後に冬型になる事例や梅雨前線が停滞する事例を検討させた。広域の雲分布の振る舞いと大気システム・大気過程との対応、あるいは日本の天気との関連についての相互関係の理解は不十分と見られるような課題は残ったが、高低気圧の発達を示す幾つかの重要な事実を捉える機会となった点は成果だと考える。

キーワード：学生や現職教員への気象教育、中緯度の天気系、日本の気象・気候、気象衛星画像や天気図を活用した気象教材

### 1. はじめに

日本付近は中緯度に位置し、地球全体で平均的に見れば、大きな南北の温度差に伴う上空の強い偏西風帯で特徴づけられる地域の一つである。しかし同時に、地球規模で駆動されるアジアモンスーンシステムの大きな影響を受け、日本付近の気候は明瞭な六季（春、梅雨、夏、秋雨（秋霖）、秋、冬）や何段階にもわたる急激な遷移を持つ独特な季節サイクルで特徴づけられる（松井・小川 編(1987)、松本(1993)、加藤(1997, 1998a, b, 2002, 2004a, b)等を参照）。例えば、冬は緯度が低い割に気温がかなり下がり日本海側の地域では多量の降水（降雪）があるのに対し、暖候期には熱帯並みの暖湿気団の影響を受ける等、冬と夏の違いも極端である。また、日本列島域は、本来は亜熱帯高圧帯に対応して砂漠が出来てもおかしくない位置にあるのに、梅雨や秋雨などの発現に伴って豊富な降水がある（北日本を除き）。しかも、年々の降水量の違いも大きい。従って、小中高の学校現場で日本付近の気象について学ぶことは、「単に身近にある現象だから」のみでなく、「中緯度の中ではかなり特殊なことが起きている環境に我々が住んでいる」ということも併せて認識するための格好の材料として、意義も大きい。

ところで、加藤(2006)でも触れたが、我々を取り巻く地球環境システムは、様々な物理的、化学的、

生物学的過程が固体地球圏・大気水圏・生物圏の間で複雑に絡み合っており、ある因子が僅かに変化するだけで全体が大きく変わり得るような大変微妙なバランスの上に立つ（例えば、二宮(1999)の教科書等も参照）。このような「微妙なバランスからなる地球環境の仕組み」を軸として人との関わりをも考えていくことに環境教育の原点もあると考える。しかも、狭義の地球環境問題だけでなく様々な分野の問題に直面する中で、「持続可能な社会」の実現のための対策を立てることが急務であり、そのために現状分析や解決方法を熟考して行動出来るような人々を広く育てる教育が強く求められている（持続発展教育（ESD = Education for Sustainable Development）。例えば、日本ユネスコ国内委員会(2008)によるパンフレット参照）。ESDで対象とする教育は、環境教育だけでなく、国際理解教育、人権教育、平和教育、多文化共生教育、世界遺産教育、ジェンダー教育、エネルギー教育と様々な分野に及んでいる。しかも、それぞれの分野個別的な取り組みではなく、様々な分野を多様な方法を用いてつなげ総合的に取り組むことをパンフレットでも説いている。上述した日本付近の気象・気候システムに関する学習は、理科教育の一環として地球環境システムの仕組みに関する地学的視点を高める上で大変重要であるばかりでなく、多面的に事物を分析して様々なも

の関わりや繋がりを考える体系的な思考力を培い、更に、そのような視点を大切にする価値観を育むための大変有用なトレーニング教材にもなると考える。

さて、現行の小学校理科では、日本付近の気象現象自体に関する学習を初めて系統的に行うのは、第5学年の単元「天気と気温の変化」及び「台風と天気の変化」(東京書籍の教科書。三浦他(2005))である(気象学の基礎にも繋がる内容は、加藤(2006)でも議論されているように、第3学年の「日なたと日かげをくらべよう」、第4学年の「もののかさと温度」等、もっと早い学年でも学習するが)。しかも第5学年では、季節サイクルに関連した日本の四季の天気自体については「台風と天気の変化」の単元を除き、発展的内容として触れられるだけである。逆に言えば、アジアモンスーンの季節サイクルの影響を強く受ける日本の天気システムの理解のためには、偏西風帯での移動性の高低気圧が関わる天気変化の仕組みの理解をベースに、それらが特に明瞭に見られる時期、かなり異なる現象が見られる時期などを把握して、各時期の現象の特徴を比較しながら学習を進める必要があるということである。その意味で、継続した気象観測結果やインターネット等で収集された気象情報を活用して「西から東へと移り変わっていく天気変化の仕組みの『実態』」を考察させるという第5学年での天気の学習の目玉は、アジアモンスーンの影響など、更に多面的な気象・気候システムの理解を狙った発展的学習指導の際にも、重要な基礎になるものである。また、中学校の理科でも温帯低気圧と前線に関する学習を行うので、第5学年の学習の際に、単に西から東へ天気に移り変わるという結果だけでなく、そのような天気変化を担うシステムの実態について気象衛星画像等から把握する機会を持つことは、中学校でのスムーズな学習に繋げる上でも重要なことと考える。

しかし、近年は、高校で地学を未履修の大学生も相当数存在する。このような学生が学校で天気に関する学習指導を行えるようになるためには、気象現象を支配する物理過程の一般的な仕組みだけでなく、日本付近で見られる四季折々の具体的な気象現象の「実態」についても具体的な気象情報を活用しながら熟知して親しみ、それらへの理解を深められるような学習の機会を大学で提供することが不可欠である。それは、小学校教員を目指す文科系や芸術・体育系の学生をも対象とする必要がある。

そこで本研究では、小学校の第5学年の「天気と

気温の変化」の単元の「西から東への天気の移り変わり」に関わる気象学的な背景を大学生が理解することを目的として、2008年度前期の「初等理科内容研究①」(小学校教員志望者用の教科内容に関する授業の一つ)の加藤担当分の一環として行った講義を例に、その際の留意点や教材例等について検討した。教員養成のための気象分野の講義においては、日本の天気に関する内容も扱う必要があると考えるが、気象学でも専門分野が異なる教員がその講義を行う場合の教材、あるいは、理科の指導法に関する授業で実際の気象現象を教材にする際の一つの指針として、このような大学生向けの講義事例の蓄積は大変重要と考える。本論文では、「西から東への天気変化に関わるシステムの実態」に関して、講義で取り上げる現象の気象学的意味や日本の四季の中で見た留意点、対象とする現象の具体的事例を用いた講義資料図やそれを使った学習の狙いを議論し、最後に、講義の効果や問題点を考察する。

なお、本テーマに関する大学レベルの深い理解のためには、上層場も含めた過程にも踏み込む必要があるが、中学以来久々に気象に触れる学生が大半である事情を鑑み、まずは雲や地上天気図だけでもどれだけの本質が分かるかを考察させることとした。

## II. 「西から東への天気の変化」をもたらすシステムに関する気象学的面白さと学習の意味

### 1. 中緯度の偏西風帯での現象としての位置づけ

地球全体で見ると、大気大循環に伴う極向きの熱輸送によって、低緯度地域と高緯度地域との放射収支のアンバランスに伴う温度差を解消しようとし、南北方向の熱の平衡が保たれている。低緯度地域では、熱帯収束帯で上昇し亜熱帯高圧帯で下降するハドレー循環がその極向き熱輸送を担う(図1)。

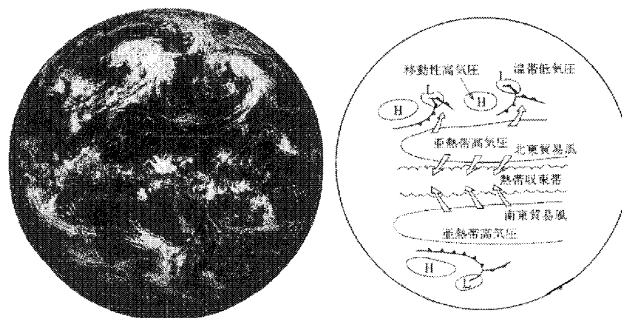


図1 平均的な大気大循環の模式図と対応する気象衛星ひまわりの画像例(1990年4月13日12時)。小倉(1994)より引用。

一方 中緯度地域では、低緯度地域よりも対流圏での南北の温度差が大きいため、平均的には対流圏の中層・上層では高緯度側が低気圧、低緯度側が高気圧となっている（極地方を同心円上に取り巻く等圧線）。しかし、地球の自転の影響のため、上空ほど偏西風が強い。つまり、南北に空気を交換して南北の温度差を解消しようとしても、コリオリ力のためにストレートには南北に空気が動けないわけである。但し、そこでは大きな南北の温度差に伴う位置エネルギーを源とする温帯低気圧・移動性高気圧システムが発達する（「傾圧不安定波」。小倉(1994)の教科書等も参照）。これに伴う上空の偏西風の蛇行により、南風が暖気を北に北風が寒気を南に輸送し、極向きの熱輸送を行っている。また、上空の偏西風に流されてこれらの高低気圧システムは、一般的に発達しながら西から東へ移動する。その代表的波長（低気圧と次の低気圧との間隔）は数1000km程度であり、数日～1週間程度の周期を持つ。このように、小学校の第5学年で学ぶ「西から東への天気の変化」は、中高緯度地域の大気大循環の最も重要な側面について「身近な天気の変化の仕組み」を切り口として扱っている点を忘れてはならないと考える（子どもたちにそこまで教えるわけではないが）。

## 2. 東アジア季節サイクルの中での位置づけ

中緯度地域では、一般に上空の偏西風の強さも大きく季節変化する。また、東アジアでは、地球規模のアジアモンスーンシステムの影響も加わり、卓越する気象現象の季節変化も顕著である。

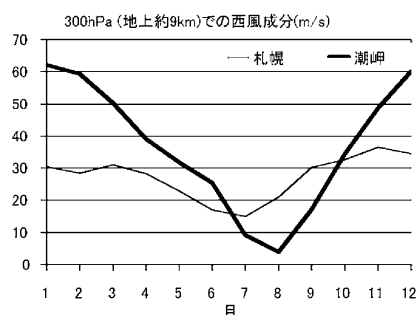


図2 潮岬（太線）と札幌（細線）における1971-2000年で平均した300hPa面（地上約9km）での西風成分の季節変化。

図2は、潮岬と札幌における1971-2000年で平均した300hPa面（地上約9km）での西風成分の季節変化を示す（理科年表のデータより作図）。前述のように、図2の偏西風が強い時期は、対流圏での南北の

温度差が大きいものと読み替えてよい（北側が低温）。九州～関東の緯度の例として潮岬を見ると、300hPaでの偏西風は5月過ぎから急速に弱くなり、7、8月には大変弱い。これは、温帯低気圧・移動性高気圧システムを発達させる基本場の南北の温度差に伴う位置エネルギーが大変小さいことを意味する。従って、その時期には、高低気圧システムに伴う周期的な天気変化では説明できない過程も見られることになる。

大和田（1992, 1994）による地上天気図に基づく気圧配置型の出現頻度の季節変化の図を見れば（図は略。加藤・加藤（2005）にも引用されている）、移動性の高低気圧が交互に通過しやすい季節と示唆されるのが、3～4月頃と10月頃（後者は、秋雨前線や台風の影響を受けやすい時期の後に続く季節）である。但し、3月前半までは日本付近に北西季節風が卓越して日本海側に降雪をもたらす「冬型」の出現頻度もまだ高い。また、11月以降にも、「冬型」の出現頻度が高くなる。日本列島南岸付近の上空の偏西風や南北の温度差は春や秋よりも真冬の方が強いが、その時期には冬モンスーンに伴う準定常的な寒気の吹き出しも卓越するため、高低気圧の活動度は晩秋や早春よりも弱い傾向がある点にも注意が必要である（Nakamura 1992; 中村 1995）。

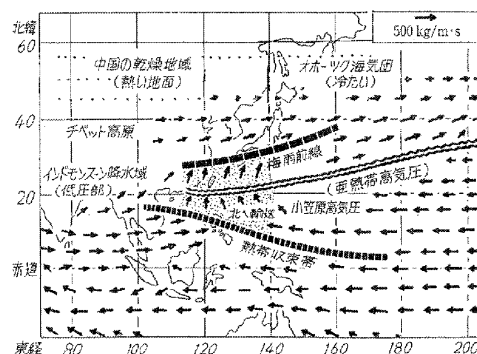


図3 日本列島付近での梅雨前線活動が活発な時期における850hPa面（地上約1.5km）での水蒸気輸送の分布の模式図。Kodama(1992)を改変した加藤(1998)より引用。

一方、5月になると、前線が東西に停滞する頻度が増加する。この時期の停滞前線は南西諸島付近の梅雨に関連したものであるが（Kato and Kodama 1992）、日本列島ではその北側に位置し、東西に帯状の高気圧に被われていわゆる「五月晴れ」となることも多い。6月後半～7月前半には、長江流域～日本列島付近では梅雨前線の停滞に伴い、梅雨最盛期を

迎える。その後、日本列島は、小笠原高気圧とも呼ばれる亜熱帯高気圧に覆われやすい盛夏期となる。梅雨最盛期～盛夏期は、南アジアや熱帯西太平洋のモンスーンに伴う広域の大気加熱の影響を受けている。特に上述の梅雨最盛期には、それに伴う南アジアの低圧域の形成等の影響も大きく、強い下層南風により多量の水蒸気が梅雨前線へ輸送されている（図3の模式図を参照）。5月～6月前半は、まだこのような北半球夏モンスーン循環は確立されていないが、その確立へ向けた季節遷移のイベントの影響を強く受けている（Kawamura and Murakami (1998), Ueda et al. (1995), 加藤 (1998a,b; 2004b)等を参照）。

以上のように、日本付近は、1)大規模な海陸の熱的コントラスト、2)そのまわりを囲む熱帯・亜熱帯のとりわけ暖かい海、3)東西数1000kmにも及ぶチベット高原の存在、の因子の絡みによって駆動されるアジアモンスーンやその季節遷移の各ステップの影響を強く受け（村上(2003)や加藤(2004a)等を参照）、夏や冬及びそれらの前後の季節には、中緯度にありながら偏西風帯での「傾圧不安定波」とは異なるシステムが卓越することになる。

従って、地球全体で見た時の中緯度の最も基本的なシステムがもたらす「西から東への天気の移り変わり」は、アジアモンスーンシステムが丁度交代す

る時期（夏冬の何れのシステムも明瞭でない時期）を中心に、身近な現象として見えやすいのである。東京書籍の教科書では、小学校第5学年の本単元を4月中旬～5月中旬に担当してあるのも、このような気象学的背景がある（現象論的に3月下旬から4月下旬頃の時期が最も適当と考えられるところを、学期の制約上、最も適当な学習時期がやむを得ず、少しだけ後にずれて担当されていることも考慮しておく必要がある）。

### 3. その他の季節で見られる現象へのコメント

図2でも分かるように、典型的な傾圧不安定波が卓越する時期以外でも、多くの場合、日本付近の上空では偏西風が吹いており、システムの西から東への移動も見られる。例えば、梅雨前線上の降水域も大きく見れば西から東へ移っているとも言えるが、日々の気象衛星画像やレーダーアメダス合成図、天気図等を観察すると、春や秋よりも東進速度が遅かったり、大雨域は西日本に停滞して東日本まで伝わらなかったり、逆に西日本ではあまり天気は崩れなかったのに東日本では上空の寒気の影響で局地的な雷雨が続出する等、春秋の温帯低気圧通過に伴う天気変化とは大きく異なる。また、南海上に梅雨前線が停滞したまま、南方に降雨帯があるが日本列島上ではなかなか雨が降らないことも少なくない。

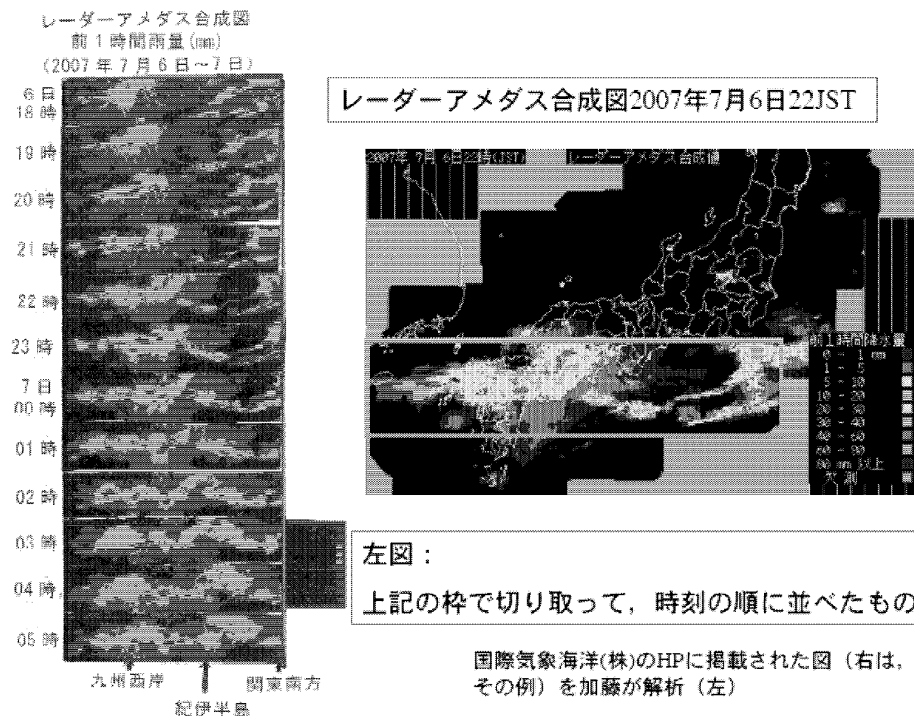


図4 梅雨前線付近の強雨域の振る舞いに関するレーダーアメダス合成図（国際気象海洋(株)のHPの画像データに基づく）。左図は、毎時の画像をもとに加藤が解析したもの。

例えば、図4は梅雨前線付近での九州を中心とした強雨域の振る舞いを示す。左側は、毎時の前1時間降水量分布を右図中の枠で囲んだ領域で短冊状に切り取って、時間の順に上から並べたものである。システムが東進する場合、図上でそれを追った軌跡は、右下がりの線になる。この例では、全体の雨域は時間の経過とともに東側へ移動あるいは拡大しているが、九州付近に見られる東西幅100～数100km、南北幅50km程度の強雨域は、東進しながら盛衰を繰り返し、東進した強雨域の西方に新たな強雨域が発生して東進発達を行うことにより、強雨域全体としては九州北部に停滞していたことが分かる。すなわち、梅雨前線付近の集中豪雨域の停滞である。

一方、冬でも、確かに温帯低気圧が発達しながら日本列島付近を東進することはよく見られるが、その後は移動性高気圧が覆って来ず、シベリア高気圧と東進した低気圧との間で「西高東低」の冬型の気圧配置となりやすい。この場合、日本海や東シナ海、本州南方海上等では、海からの熱・水蒸気の補給を受けて海上には背の低い対流雲が一面に広がるため、日本列島の太平洋側の地域等を除き、必ずしも晴れやすくなるわけではない(この一連の過程は、「気団変質」と呼ばれる。例えば、小倉(1994)の教科書も参照)。このような状況をもたらす気圧配置は、3月前半でもしばしば見られる(加藤・加藤 2006;大和田 1992, 1994)。

従って、「西から東へ移り変わるということが、『曲がりなりにも』見られるか否か」だけを確認する活動ならば、3月後半～4月後半や10月頃以外でも不可能ではない。しかし、そこで見られる現象の多くは、中緯度のいわば「代表選手」である純粋な「傾圧不安定波」とは別の過程が多く混じった現象を見ている可能性が高くなり、気象分野の系統的学習を考えた際には適切ではない。

もし、3月後半～4月後半や10月頃以外の現象を扱う場合、あくまでも発展的学習として位置づける必要がある。すなわち、「一見、春とはかなり違うシステムであっても『大枠として』西から東に雨域・雲域が移動している場合も多い」点を確認する学習、あるいは、「西から東への天気の移り変わり」だけでは説明できない現象も色々と知る」という学習としての位置づけが考えられる。例えば、5年生の「台風と天気の変化」という単元は、「西から東への天気の移り変わり」だけでは説明出来ない典型的な現象を含むので、両者を比較することで学習効果を更に

上げることが出来るものと考ええる。

次章では、以上述べた「西から東へ発達しながら移動する傾圧不安定波の事例」、「西から東への移動だけでは説明出来ない事例」について、「初等理科内容研究」の講義における大学生の理解を図るための教材例として提示し、具体的な現象の特徴について論じることにする。

### Ⅲ. 初等理科内容研究での講義とその教材

#### 1. 前後の講義内容の中での本時の位置

「西から東への天気の移り変わり」を巡った内容の講義は、2008年度前期の木曜5限目「初等理科内容研究①」の加藤担当分の計8回のうち(初回は、この講義のオリエンテーションが中心)、第6回目(6月26日)に行った。

なお、第7回目の7月3日には若干の補足を行うとともに、6月26日にコメントした梅雨に関して詳しく説明した。また、第4回目(5月29日)、第5回目(6月5日)の担当時には、地球全体の熱収支に関わる過程やその緯度による違い、海陸のコントラスト等の地球表面の状態の違いの役割、小学校第3学年で学習する「日なたと日かげをくらべよう」、「光をあてよう」(東京書籍)の単元がそれらの理解の布石として持つ意味、等について説明した。その後、南北の熱輸送に関わる地球大気の大循環や(ハドレー循環や偏西風の波動など)、日本付近の卓越気圧配置型の季節変化の実態などについて説明し、第6回目の本時の講義へと繋げた。

#### 2. 本時の内容(概要)

日時:2008年6月26日(木)5限(16:00～17:30)

出席者:114名(7名を除き2年生)。Ⅳ.で述べるワークシートの回収数で記した。

テーマ:「西から東への天気変化:温帯低気圧と移動性高気圧の周期的通過(中緯度の『代表選手』)」

主なデータソース:

・気象衛星ひまわりの赤外全球画像の動画のVHSビデオ(1994年について)。

1時間毎の全球画像(例は図1を参照)に基づき、気象庁が作成。当時、日本気象協会から入手。

・「気象年鑑2004」(気象業務支援センター刊行)

本冊子に掲載された2003年の毎日の09時(JST)の地上天気図。

・「気象衛星観測月報」CD-ROM版(気象庁編集、気象業務支援センター提供)

収録された気象衛星画像のうち、当該期間の全球の赤外画像を利用。

授業の内容・受講生の学習活動と狙い：

- ①気象衛星の動画で見る雲システムの振る舞い
- ②衛星画像と天気図で見る春の移動性高低気圧の振る舞い（事例分析）
- ③他の季節の事例との比較

### 3. 授業における主な学習活動とそれらの狙い

- ①気象衛星の動画で見る雲システムの振る舞い（学習活動）

気象衛星ひまわりの全球画像の動画を3月～4月について3回流し（所用時間：1回につき数分）、次の点を観察・記録させた。

(a) 温帯低気圧に対応する雲域の東進に伴う変化

(b) その雲域の東進の見られる緯度帯の範囲

（狙い）

(a) について、温帯低気圧・移動性高気圧のシステムは、日本付近で東進しながら次第に発達するので、その発達の様子も学生が観察しながら気づくことを狙う。具体的には、「低気圧の雲域の面積が東進しながら拡大するとともに、次第に反時計回りの渦を巻くようになる点」、また「低気圧の西方では、移動性高気圧が低気圧とペアで発達することに対応して、晴天域も南北に拡大してくる点」（Kato and Kodama (1992) の4月の例も参照）、を雲画像の変化のイメージとして把握させる。つまり傾圧不安定波の発達のイメージを雲で捉える活動の一環である。

(b) は、対象とする現象が、Ⅱ. 1. で述べた熱帯収束帯や亜熱帯高圧帯よりも高緯度側で、上空の偏西風が卓越している地域で見られる点を、将来小学校教師として授業を行う学生らに意識させる狙いがある。小学校の教科書のみを見れば、「西から東への天気変化」がどの程度の範囲で成り立つ過程なのか不明瞭であるため、不自然な現象の扱いで学習指導を行うことがないよう、その議論の限界を学生に認識させて必要があるためである。

- ②衛星画像と天気図で見る春の移動性高低気圧の振る舞い（事例分析）

「温帯低気圧が発達しながら日本付近を通過し、その後を移動性高気圧が覆う」という周期的な天気変化が2サイクル見られた、2003年4月4～10日の期間を教材として取り上げ、毎日の同時刻の(09JST) 気象衛星画像と天気図とを並べたものを示し、次の

作業を行わせた（それぞれ、図5と図6）。気象衛星画像は可視画像を利用した。赤外画像が雲域では雲頂高度に関する情報を強く反映するのにに対し、可視画像は太陽光の反射率を観測しているので、雲の光学的な厚さ、すなわち雲の水の量の情報を強く反映している。従って、この事例の移動性高気圧域では下層雲も殆ど覆っていない点を確認させるため、静止画では可視画像を用いた（下層雲は、雲頂高度は低いが雲水量は比較的多い）。なお、本項と次項では、説明の都合上、学習活動の内容と狙いを一括して述べる。

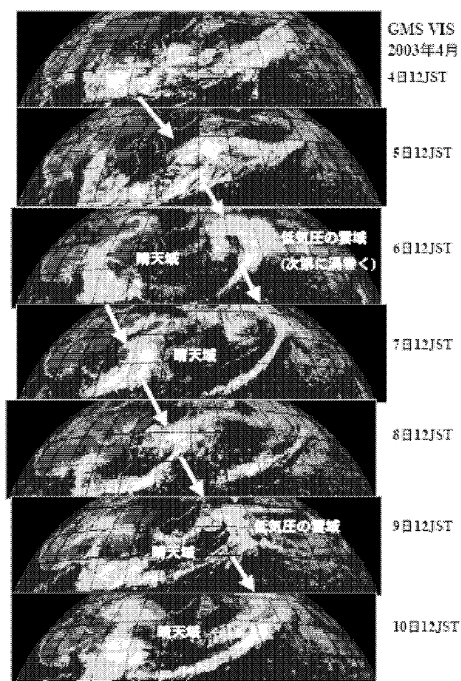


図5 2003年4月4～10日の期間の気象衛星可視画像を並べたもの（各日09JST）。矢印や白抜きの文字での画像への書き込みは、学生への配布資料には行っていない。

(a) 別の年についての気象衛星画像の動画の、3～4月を通した観察により分かったことを、配布した図5の資料眺めさせて確認（OHPでも写した）。

(b) 配布した図6の天気図で、注目する低気圧や高気圧の中心が初めて明瞭に見られる日の天気図上で指示した。それらの中心や前線（低気圧の場合）の位置を別の色でマークさせるとともに、低気圧を囲む最も外側の閉じた等圧線に色を付けさせた。

このことは、低気圧が東進しながらその中心示度が深まるだけでなく、閉じた等圧線で囲まれる範囲の面積が拡大することにも注目させることで、具体的イメージとして発達の様子を把握するための天気図の利用法を経験させる意味がある（図6は、この

ような作業が済んだ状態の例を示している。講義の際には、この内容を配布した天気図にOHPペンで書き込んだものを提示した。このような、少し踏み込んだ天気図や気象衛星画像画像の利用は、「どの事例を小学校の授業で取り上げるか、また、その事例のポイントは何か」を自ら考えた上で教材としての情報を整理するための大きな力になると考える。こ

の活動を通して、「高低気圧が単に東進するだけでなく、それらがペアで発達していく」「傾圧不安定波」という中緯度大気大循環の最も基本的なシステムの特徴を、「具体的イメージを持って」学生が理解することを狙っている。

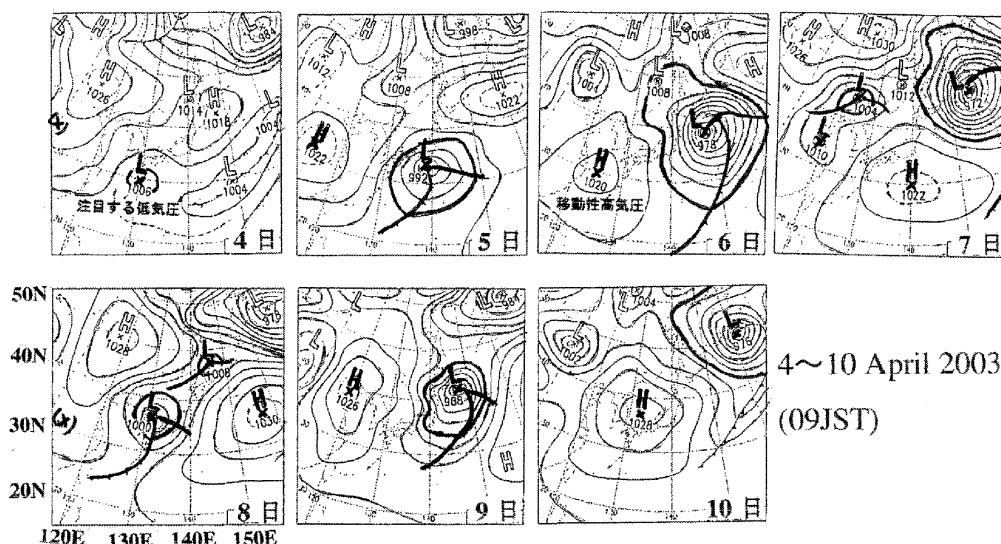


図6 2003年4月4～10日の地上天気図を並べたもの（各日09JST）。対象とする低気圧の中心や前線、高気圧の中心をマークするとともに、最も外側の閉じた等圧線を太線でなぞった。気象年鑑2004の天気図に加筆。

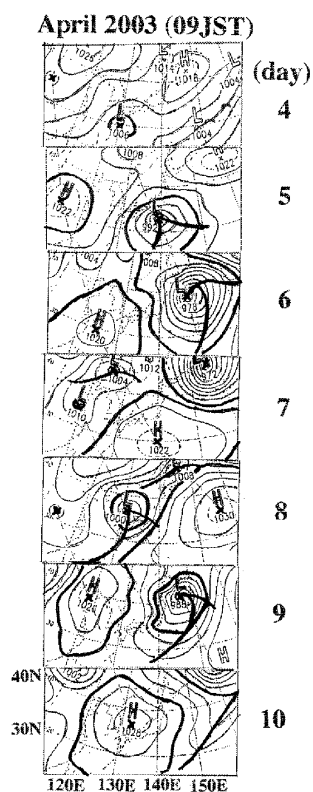


図7 2003年4月4～10日の期間の地上天気図を短冊上に切って並べたもの（各日09JST）。

(c)天気図を東西に細長く切り取って上から日付の順に並べた図から、システムの東進と発達を同時に把握出来ることを、手作業として書き込み済みのOHPで提示した（図7）。これは、(b)の最後に述べた狙いを、更に確認する意味がある。今回は、担当時間数の制約で(c)は結果の提示のみであったが、授業時間をもっと確保できれば、これも実習させる方が教育効果は上がると思われる。

### ③他の季節の事例との比較

Ⅱ. 3. で述べた、(ア)低気圧通過後に冬型の気圧配置になる事例、(イ)梅雨前線が本州南方海上に停滞する5月後半の事例、(ウ)梅雨前線がほぼ日本列島南岸に沿って停滞する6月後半の事例（梅雨最盛期）について、②の図5、図6に対応する資料を配布した。

(ア)に関しては、気象衛星画像を並べたものは、手元のデータが利用出来た2003年3月3～9日（図8）、天気図は、低気圧通過後により顕著な冬型に移行した2003年1月26～29日を取り上げた（図9）。

(a)に関連した説明では、Ⅱ．3．で述べたように、低気圧通過後に晴天域が現れるのではなく、寒気吹き出し時の気団変質に伴う背の低い積雲系の雲が海上を広く覆う点の把握がポイントである。

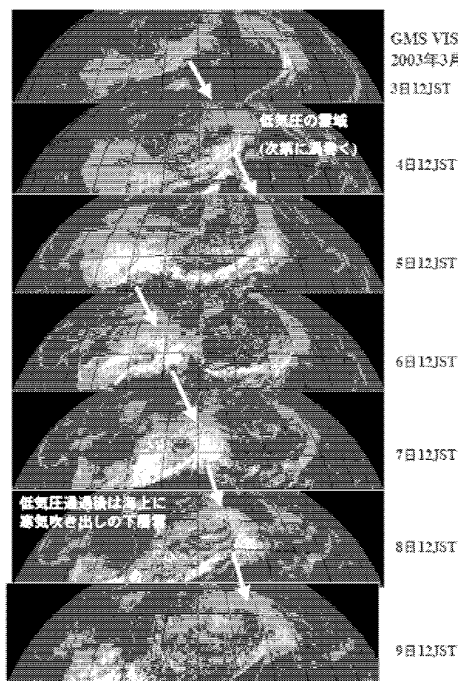


図8 2003年3月3～9日の期間の気象衛星可視画像を並べたもの(各日09JST)。矢印や白抜き文字での画像への書き込みは、学生への配布資料には行っていない。

また、天気図から把握する低気圧の東進・発達に関しては、春の事例と同様な特徴を示すが、その後

面に移動性高気圧がすぐに覆ってくるわけではなく、大陸上に中心示度の高い高気圧が持続する。このため、強い東西の気圧傾度が維持されて季節風が持続し、前述の海上の雲分布が見られることになる。

本時では、時間の関係で全員に作業をさせる十分な時間的余裕がなかったので、本時の最後近くで作業済みのOHPを提示して説明した(②の作業が早く終わった人は冬の事例の作業に入るように指示)。

(イ)は、2003年5月18～20日、(ウ)は2003年6月26～29日の事例を取り上げた。但し、時間の関係で、作業済みのOHPを提示しながら加藤が次の点を説明した(本稿では、天気図のみ図10に示す)。

・いずれの事例でも、梅雨前線に対応する前線が停滞し、前線上の低気圧の規模は春や冬の例に比べて小さく(便宜上、「小低気圧」と呼ぶ)、東進はするもののあまり発達しない。

・(イ)では、南の前線上の小低気圧とその北側の高気圧とが別々の動きを見せる。

・(ウ)では、前線の南側の高気圧(小笠原高気圧)や北東側の高気圧(オホーツク海高気圧)は準定常的であり、やはり、前線上の小低気圧と南北の高気圧とは別々の動きを見せる。

以上の点を踏まえて、小学校の第5学年での「西から東への天気の変り変わり」に関する学習を冬とか5月～日本列島の梅雨期に行うことの不都合性を述べて、講義を締めくくった。

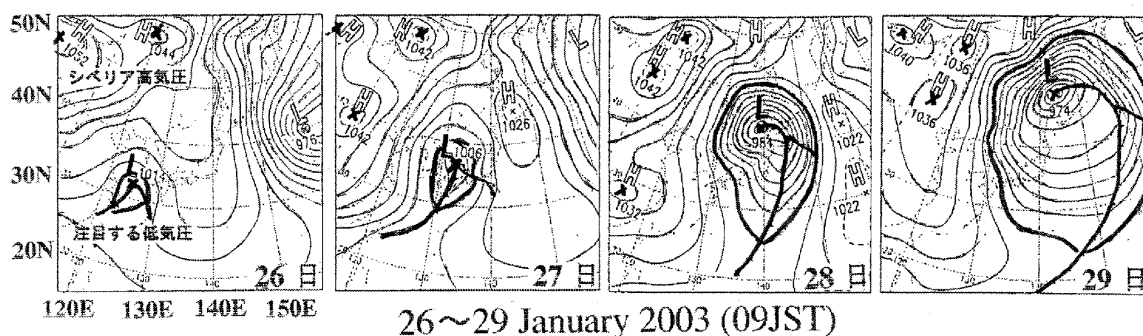


図9 図6と同様。但し、2003年1月26～29日の地上天気図を並べたもの(各日09JST)。気象年鑑2004の天気図に加筆。

#### Ⅳ．講義の成果や課題

##### 1. 講義のまとめに関するワークシートの内容

簡単な実習も交えた講義の内容に関して、Ⅲ．2．で述べた3つの学習活動①～③に関して学生が把握できたことなどを、トータルでA4版のワークシート1枚に自由記述させた。なお、ワークシートの質問

内容は次の通りである。

①中緯度の雲の動きや変化の特徴について、春の気象衛星画像の動画から分かったことを簡潔に記して下さい。(※口頭で、当該雲域の現れる南縁の緯度にも触れるように指示)

②春の例で、低気圧が日本付近を東進する際に見



られた低気圧・高気圧システムの振る舞いの特徴について、今日の講義で分かったことを簡潔に書いて下さい。その中で、実際に簡単な実習を行なわなかったらピンと来なかったかも知れないと思う点があれば、記して下さい。

③本日扱った冬の例でも、5月や6月の例でも、低気圧が「西から東へ移動する」点は一応認められましたが、4月の例とどのような違いがありました

か。更に、このことを踏まえて、「天気が西から東に変化する」ことの学習を春や秋以外に行うと、どのような難しさ（解釈の混乱も含めて）が生じると思われますか？それぞれ、簡潔に記して下さい。

次節以下で、これらに対する回答内容に基づき、この講義の成果や今後の課題について検討を加える。

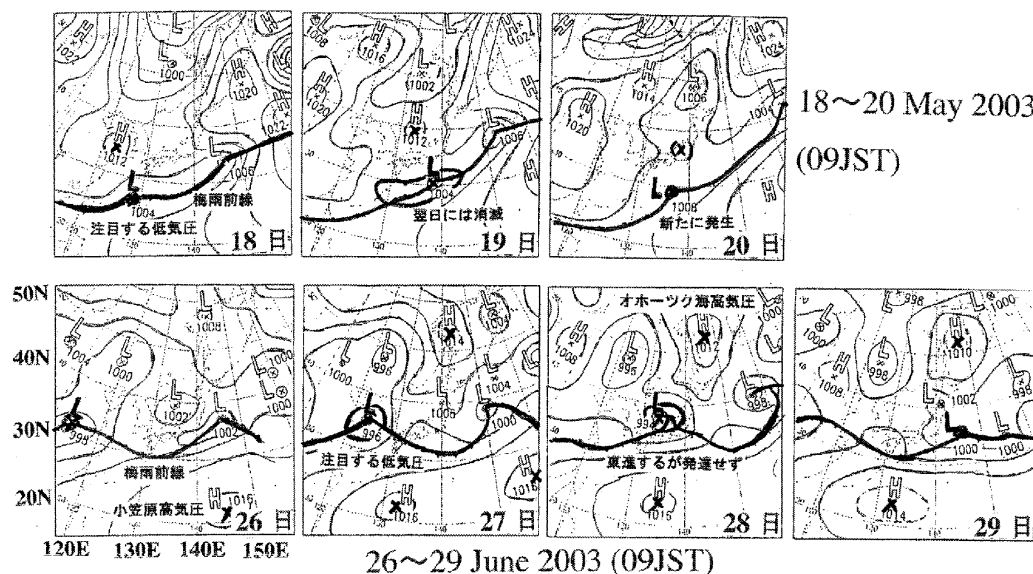


図10 図6と同様。但し、2003年5月18~19日、及び、6月26~29日の地上天気図を並べたもの（各日09JST）。気象年鑑2004の天気図に加筆。

## 2. ワークシートへの回答のまとめ

Ⅲ. 3. で述べたポイントとなる各事実に関してワークシートに指摘できた人数をカウントするとともに、主な記述内容を抜粋あるいは要約して示した（記述例は表1に示す）。質問①、②、③毎に、回答内容、人数（述べ人数。ワークシート提出者114名あたりの割合も括弧内に記す）を以下に示す。なお、明確な文言で表現されていないが、前後の関係あるいは学生が描いたイラストから判断できる場合には、回答数に含めた。

### ①動画による雲の動きから捉えたこと（質問①）

（日本付近の雲域の振る舞い）

○渦を巻くようになる：81名（71.1%）

○低気圧の雲域の拡大：37名（32.5%）

○晴天域の広がり：31名（27.2%）

・上の○を2つ回答：33名（28.9%）

・上の○を全て回答：14名（12.3%）

・その他：3名（2.6%）

（広域での位置づけ）

・熱帯収束帯との位置の区別：49名（43.0%）

・熱帯収束帯の雲のタイプの違い：55名（48.2%）

・低気圧雲システム出現域の南縁の緯度：19名（16.7%）。但し、説明不十分9名を含む

### ②天気図も併用して把握する西から東へのシステムの移動と発達（質問②）

（東進しながら発達する様子の具体的把握）

・高低気圧がペアで発達：65名（57.0%）

●中心示度の深まり：58名（50.9%）

●閉じた等圧線で囲まれる範囲の拡大：55名（48.2%）

・上記の●を2つとも回答：43名（37.7%）

・①の雲で見た事実を回答：39名（37.7%）

### ③西から東への変化の学習に不適な現象（質問③）

（冬の低気圧通過後の天気システムの特徴の理解自体に関する回答）

- ・低気圧の動き：60 名（52.3%）
- ・高気圧の振る舞いの違い：74 名（64.9%）
- ・低気圧通過後、冬型になること：67 名（56.1%）
- ・海上の下層雲：8 名（7.0%）
- ・その他：7 名（6.1%）
- （5 月や 6 月の前線停滞）
- ・東西に伸びる前線や雲帯の停滞：66 名（57.9%）
- ・これをより具体的に記述：15 名（13.2%）
- ・その他：27 名（23.7%）

表1 各質問に対する記述の例。質問毎に通し番号をつけた。なお、表現の問題として意味が分かりにくい記述に関しては、学生が記述した内容の趣旨を変えないように若干表現に手を加えながら集約した。内容自体の補足が必要なものは、「筆者注」として括弧内に説明を加えた。

質問①	<p>（東進する低気圧の雲域の変化をイメージ出来るような観察が出来た記述例）</p> <p>(1-1) スタートする時は雲のかたまりがドカンとある感じだが、だんだん渦巻きが大きくなりその範囲が広がる。また、雲を追いかけるように晴天域が広がる。</p> <p>(1-2) くさびのような雲が東進している（筆者注：恐らく、渦巻く様子がより明瞭になる様を表現）。</p> <p>(1-3) 海上を出てから反時計回りを始めている。</p> <p>（熱帯収束帯の雲域とのタイプの違いの記述例）</p> <p>(1-4) 赤道付近の雲は、小さい細かい積乱雲の塊が強まったり弱まったりしながら渦を巻いて出たり入ったりしている。</p> <p>（今回の議論の対象外だが興味深い事実の記述例）</p> <p>(1-5) 熱帯収束帯の雲が西に進み、チベット高原付近で北上し、東に流れてきている。</p>
質問②	<p>（高低気圧システムの発達に関して観察出来た点の記述例）</p> <p>(2-1) 高気圧も低気圧の後をついて行くように東進し、その勢力範囲を広げる。</p> <p>（実習を行うことで分かりやすくなったことに関する記述例：天気図の作業）</p> <p>(2-2) 高低気圧の中心に印を付けてその動きを追うとともに、一番外側の閉じた等圧線をなぞってみて初めて、低気圧の発達の様子が分かった（複数人記述。それらを抜粋・集約）。</p> <p>(2-3) 実際にマーカーで低気圧を囲むことによって、最初の何倍にも発達していることが分かった。</p> <p>（衛星画像、特に動画を見たことが理解を促す効果についての記述）</p> <p>(2-4) 発達の様子を確認するには、静止画を並べたものだけでなく、動画を用いた方がやはり分かりやすかった。</p> <p>(2-5) 実際の映像を見なかったら、渦を巻くところがピンと来なかったかも知れない。</p> <p>(2-6) 天気図だけでは、低気圧の動きを感覚的に追うことは困難であり、雲の動きと結びつけることにより、そのシステムの特徴が理解しやすくなるばかりでなく、身近な天気と雲システムの動きが結びついてくる。</p>
質問③	<p>（冬の「その他」の現象に関する記述例）</p> <p>(3-1) 低気圧の動き遅い（筆者注：平野部でも大雪が降る際の上空の動きの遅い寒冷渦の影響も口頭で話したので、そのことを述べたのかも知れない）。</p> <p>(3-2) 雲が残る（具体的な冬特有の現象のイメージが感じられなかったので、「その他」に入れた）。</p> <p>(3-3) ペアで発達していることが分かりづらい。</p> <p>（前線停滞に関する事実のより具体的な記述例）</p> <p>(3-4) 低気圧が東進してもあまり発達しない。</p> <p>(3-5) 低気圧の後の高気圧がはっきりしない。</p> <p>（5、6月の「その他」の現象についての記述例）</p> <p>(3-6) 低気圧の動きが遅い。</p> <p>(3-7) 西進する台風の影響（筆者注：夏や秋の一般的な話と勘違いしているかも）。</p> <p>(3-7) オホーツク海にシベリア高気圧が停滞（筆者注：「オホーツク海高気圧」の誤り。従って十分よくイメージ出来ているわけではなさそう）。</p> <p>(3-9) 偏西風の弱まりに付随する種々の現象（筆者注：低気圧の東進速度が遅い、寒気の影響で東日本に雷雨、等も記載してあった）。</p> <p>（「西から東への天気の変化」の学習を春や秋以外に行うことの不都合性に関する記述：具体的現象を挙げたもの）</p> <p>(3-10) 春や秋以外は、低気圧と高気圧とがペアになって同じ動きをするわけではないので（これに関連して、冬には低気圧が東進しても高気圧はあまり位置を変えないと具体的に指摘した人もあり）。</p> <p>(3-11) 低気圧通過後も海上一面に雲が出来てしまい、うまく観察出来ない（筆者注：冬の状況）。</p> <p>(3-12) 梅雨前線上の降水域の東進速度の不規則性。</p> <p>(3-13) 5 月は、全体的に雲が多く、はっきりした形の雲が少ない。</p> <p>(3-14) 5、6 月には、4 月よりも低気圧が大きさを維持しながら東進（筆者注：あまり発達しない）。</p> <p>（概念的なもの、現象のイメージが十分には表現されていない記述例）</p> <p>(3-15) 他の季節だと、興味を持って天気予報を見ても、習ったこと（筆者注：「西から東への変化」）と違うので戸惑う。</p> <p>(3-16) 低気圧は西から東へ移動するが、梅雨の影響で天気が不安定。</p> <p>(3-17) 春や秋には梅雨前線や秋雨前線など気候図で確認出来るが、夏や冬にはそのような分かりやすい移り変わる天候がないので（著者注：「西から東への変化」自体の現象を必ずしも正しく捉えていない可能性あり）。</p> <p>(3-18) 5 月には全体的に雲が多く、はっきりした形の雲が少ない（筆者注：「はっきりした形の雲」とは、塊として渦を巻いている低気圧の雲域のようである）。</p>

### 3. 考察

実習の効果に関する質問②の記述で、気象衛星画像の動画を観察することの重要性を学生も述べている。確かに、雲で見た春の低気圧システムは「東進しながら渦を巻くようになる」という発達の一側面を捉えた学生は81名あり（全体の約71%）、気象衛星の雲画像の動画でよく観察出来ていた。

一方、天気図を用いた作業に基づき、「中心示度の深まり」や「閉じた等圧線で囲まれる領域の広がり」を指摘したのは何れも50%前後であり、両方とも指摘した学生も38%程度あった。しかも、「高低気圧がペアで発達する」点を指摘した学生も57%あり、言葉の上ではそれなりに重要なポイントを把握できたように思われる。

但し、雲画像の観察に基づく「低気圧の雲域の拡大」や「後に続く移動性高気圧の晴天域の広がり」を指摘したのは全体の30%程度であり、「渦」、「雲域拡大」、「晴天域」の3つの要素とも指摘したのは僅か14名（12%）であった。受講者の中には、記述(1-1)、(1-2)、(1-3)のように、かなり具体的な特徴を記述出来た者もいる。しかし、それが受講者全般の傾向にはなっていないわけである。このことは、第一印象で捉えやすい特徴については気象衛星の動画からすぐに鮮明なイメージを持つことが出来たと考えられるが、低気圧発達に関する地上天気図で見た特徴が雲分布でどう対応するのか、まだ十分には結びついていないためだと考える。

ところで、中学校理科の第2分野における気象に関する単元で、中緯度地域の代表的温帯低気圧や前線に伴う雲の特徴やその分布について、そこで起きている大気過程との関連で学習する。従って、あるスナップショットでの前線や低気圧、移動性高気圧に関連した広域大気過程と雲分布との基本的関係を復習し、「雲のイメージをそこで卓越している広域大気過程に読みかえる」という視点を予め示しておくべきだったかも知れない。

上記の現象が生じるゾーンが、亜熱帯高圧帯の北縁に隣接している点に関しては、熱帯収束帯との区別自体はつくものの、低気圧雲システム南限の位置を記述した回答が17%程度しかなく、各システムの相互の位置関係を的確に捉えて体系づける視点の獲得を促す必要がある。なお、熱帯収束帯と温帯低気圧の雲のタイプや振る舞いの際は、それなりに多くの学生が捉えていた点は興味深い。

ところで、広域の雲システムの振る舞いを具体的

に理解する上で、気象衛星画像の動画の有効性を学生も感じた点は上述の通りであるが、それは、動画という「動くもの」を使うことの重要性を感じているようである（記述(2-4)～(2-6)）。

一方、天気図で分かる事自体の把握に関して、回答者の絶対数は多くないが、記述(2-2)や(2-3)のように、閉じた等圧線で囲まれる領域の広さに注目させることのそれなりの効果はあったように思われる。これは、「実習を行わなかったら、イメージが湧きにくかったかも知れない」と答えた項目で、ペアで発達4名、中心示度の深まり5名、閉じた等圧線で囲まれる領域の拡大8名と、閉じた等圧線で囲まれる領域の拡大を挙げている学生が少しであるが多い点からも伺える。

質問③に関連した内容は、時間の関係で実習に移る前に加藤の説明をきいた学生も少なくないと思われるので、質問①、②とは同等な扱いは出来ないが、冬に関する天気変化では、低気圧東進後の高気圧の状況とその結果冬型になる（北よりの季節風が吹く）点は、60%前後の回答があった。しかし、その結果、海上には寒気吹き出し時の下層雲が覆う点の回答は7%程度しかなかった（図8の衛星画像も、書き込みは入れない状態で示したにも関わらず）。従って、「低気圧通過後に冬型になる」ことは理解出来たものの、「低気圧通過後に冬型になると、何故その学習に不適か」を十分認識するには至らなかった可能性がある。

また、梅雨前線が日本周辺域に出現する時期について、前線の停滞自体は58%程度の回答があったものの、現象の実態あるいは日本の天気との関わりに関して、より具体的に記述した回答は13%程度であった（(3-4)～(3-9)のような記述はあったが）。

以上の点を考えると、「西から東への天気変化」の学習を春や秋以外に行うことの不都合性について(3-10)～(3-14)のような具体的事実に触れながら記述した回答もあったものの、大気システムの経過の特徴と雲システムとの対応を軸に、更に雲システムから具体的な日本付近の天気へと読み替えるという視点の獲得までは至っていない可能性が示唆された。

### V. まとめ

本論文では、小学校第5学年で学習する「西から東への天気の移り変わり」に関連した気象学的な諸背景、それに関する講義「初等理科内容研究①」の内容、講義の効果や今後の課題について検討した。

まず、小学校で授業をする際に教師が最小限理解しておくべき点は、次のように集約出来る。

(1) 第5学年で学習する「西から東に移り変わる天気システム」は、基本的には、中緯度の偏西風帯（大きな南北の温度差を持つ）での傾圧不安定波（移動性の高低気圧システム）である。それに伴う「周期的な天気変化」が教材としての明瞭さを持つのは、上空の偏西風は強いがアジアモンスーンは夏と冬の交代期にあたる春や秋の限られた時期である。

(2) 低気圧の発達に関しては、気象衛星画像やその動画から、東進とともに雲域が拡大し、また、反時計回りの渦も明瞭になることが観察出来る。また、地上天気図から、低気圧の中心示度の低下、閉じた等圧線で囲まれる低気圧領域の拡大が具体的に把握出来る。但し、低気圧通過後に移動性高気圧に伴う晴天域も拡大しながら移ってくる点も同時に把握する必要がある。

(3) 冬には、低気圧が東進発達しても、その後に移動性高気圧は覆って来ず、準定常的なシベリア高気圧との間で西高東低の気圧配置となる。このため、寒気吹き出しに伴う下層雲が海上を広く覆い、全国的に晴れるわけではない。一方、5月以降には、日本列島南方あるいは南岸に東西に伸びる梅雨前線（その雲帯）が停滞し、天気が回復しにくい地域や逆に晴天の続く地域等がある。このように、春や秋とは異なる時期にこの単元の学習を行うと、全国的な規模で雨天・晴天が周期的に移り変わる典型的な事例を捉えるのが難しくなる。

次に、講義の成果や課題をまとめると、以下のようになる。

(4) 温帯低気圧の出現領域と熱帯収束帯との区別、低気圧の発達の具体的な把握（東進とともに明瞭な渦を巻き、中心示度が深まり、閉じた等圧線で囲まれる領域が拡大する）に関しては、比較的多くの学生が把握できており、実習の成果が確認出来た。

(5) しかし、雲域の拡大やその後方の晴天域の明瞭化を指摘出来た学生は、(4)に比べるとかなり少なく、雲域と天気図上のシステムや大気過程との読みかえの視点まで深められなかったようである。

(6) 冬には、低気圧通過後も高気圧の振る舞いの違いで「冬型」になること、5月以降は、梅雨前線が東西に停滞しやすいという事実はそれなりに伝わったようである。しかし、春や秋以外の時期は「西から東への天気変化」の学習には適切な時期ではな

いことに関して、これらのシステムの振る舞いを日本列島付近での天気具体的に置き換えて認識する段階の理解には到らなかったものと考えられる。

以上のように、今後検討すべき課題も多いものの、気象衛星画像（特に動画）の観察や天気図を用いた実習によって、関連する気象システムの実態（事実）をある程度具体的に把握できたのは、それなりの成果であったと考える。なお、小学校第5学年での授業においても、今回扱ったような資料や内容を子どもたちが扱いやすい体裁にアレンジすれば対象とする現象に関する「事実」の把握は可能であり、そのことで、かなり複雑な様相を見せる気象現象の本質を捉える視点を将来獲得する布石になると考える。

#### 【謝辞】

本研究の一部は、平成20～22年度科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「多彩な季節感を育む東アジア気候系とその変調を捉える『眼』の育成へ向けた学際研究」（代表：加藤内蔵進）の補助を受けて行われた。

#### 【引用文献】

加藤内蔵進：日本の降水環境－モンスーンアジアの中の日本－。環境制御，19，5-10，1997。

加藤内蔵進：梅雨のメカニズムと日本。子供の科学，61（No.5），26-29，1998a。

加藤内蔵進：モンスーンと日本－四季の降水環境や異常気象との関わり－。日本気象学会関西支部第20回夏季大学テキスト「日本に影響を及ぼす熱帯の気象－台風・エルニーニョ・モンスーン－」，58-77，1998b。

加藤内蔵進：梅雨。キーワード気象の事典（朝倉書店），新田尚，他 編，221-226，2002。

加藤内蔵進：モンスーンと東アジア；季節サイクルと変動－総論－。月刊海洋，36，247-251，2004a。

加藤内蔵進：チベット高原を囲む熱的低気圧と梅雨水循環について－湿潤地と乾燥地が隣接する環境の中で－。月刊海洋，36，279-285，2004b。

Kato, K. and Y. Kodama: Formation of the quasi-stationary Baiu front to the south of the Japan Islands in early May of 1979. J. Meteor. Soc. Japan, 70, 631-647, 1992.

加藤内蔵進：小学理科から気象・気候システム科学の理解へ（その1）－太陽エネルギーの分配過程と気候システムを例に－。岡山大学教育

実践総合センター紀要, 6, 55-65, 2006。

加藤晴子・加藤内藏進：ドイツにおける春の気候的位置づけと古典派、ロマン派歌曲にみられる春の表現について- 教科をこえた学習に向けて-。岡山大学教育実践総合センター紀要, 5, 43-56, 2005。

加藤晴子・加藤内藏進：日本の春の季節進行と童謡・唱歌、芸術歌曲にみられる春の表現- 気象と音楽の総合的な学習の開発に向けて-。岡山大学教育実践総合センター紀要, 6, 39-54, 2006。

Kawamura, R. and T. Murakami: Baiu near Japan and its relation to summer monsoons over southeast Asia and the western North Pacific. J. Meteor. Soc. Japan, 76, 619-639, 1998.

Kodama, Y.: Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. J. Meteor. Soc. Japan, 70, 813-836, 1992.

三浦登・奥井智久・毛利衛, 他 32 名：新編「新しい理科」3, 4 上, 4 下, 5 上, 5 下, 6 上, 6 下の各巻。小学校理科用 文部科学省検定済教科書, 東京書籍, 2005。

村上多喜雄：モンスーン概論。気象研究ノート第 204 号「モンスーン研究の最前線」(川村隆一 編, 日本気象学会), 1-40, 2003。

Nakamura, H.: Midwinter suppression of baroclinic wave activity in the Pacific. J. Atmos. Sci., 49, 1629-1642, 2004.

中村 尚：傾圧性波動擾乱の季節変化に関する観測的研究。天気, 42, 751-762, 1995。

二宮洸三：気象と地球の環境科学。オーム社出版局, 全 208 頁, 1999。

小倉義光：お天気の科学- 気象災害から身を守るために-。森北出版, 全 226 頁, 1994。

大和田道雄：東アジアにおける最近 12 年間の気圧配置型の季節と気候変化。愛知教育大学地理学報告, 74, 1-9, 1992。

大和田道雄：伊勢湾岸の大気環境。名古屋大学出版会, 全 219 頁, 1994。

Ueda, H., T. Yasunari and R. Kawamura: Abrupt seasonal change of large-scale convective activity over the western Pacific in the Northern Summer. J. Meteor. Soc. Japan, 73, 795-809, 1995.

Title: Meteorological Background on the Eastward Propagating Weather System Learned at the 5th Grade of the Primary School –A Report of a Lecture for Bachelor Students of Faculty of Education–

Kuranoshin KATO (Graduate School of Education, Okayama University)

Abstract: In the present paper, meteorological background on the eastward propagating weather system around the Japan Islands learned at the 5th grade of the primary school, contents of a lecture on that for the students in our faculty including the teaching materials, and the effects of the present lecture were discussed. In order for the students to find out the characteristics of the mid-latitude weather systems, such as the development of extratropical cyclones and anticyclones with their eastward propagation, the observation of the GMS satellite movies, etc. and the analyses of the sequence of surface weather maps were performed for the typical case in spring. Finally, examples of inadequate cases in the other seasons for the above study subject were presented in this lecture, such as in the winter monsoon or the Baiu seasons.

Although understanding of the relationship among the evolution of synoptic-scale cloud systems, that of atmospheric systems and the associated atmospheric processes would not become so sufficient, the students seem to have found out the various facts on the development of extratropical cyclones and anticyclones propagating eastward.

Keywords: Meteorology Education for Bachelor Students or School Teachers, Weather Systems in the Middle Latitudes, Weather and Climate around Japan, Teaching Materials using Meteorological Satellite Pictures and Weather Maps